



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

Efecto de la concentración y tiempo de contacto de tres biomásas

de *Lemna minor* en la biorremediación de aguas residuales

domésticas

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

AUTORES:

Bach.: Carranza Bustamante José Homero

Bach.: Romero Olivares Wilde Hitler

ASESOR:

Dr. César Augusto Monteza Arbulú

LAMBAYEQUE – PERÚ

2020



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

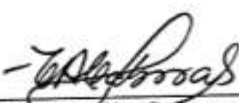
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS


**Efecto de la concentración y tiempo de contacto de tres biomasas
de *Lemna minor* en la biorremediación de aguas residuales
domésticas**

APROBADO POR:


Dra. Tarcila Amelía Cabrera Salazar
Presidenta


Dr. Wilton Oswaldo Rojas Montoya
Secretario


M.sc. Ronald Alfonso Gutiérrez Moreno
Vocal


Dr. César Augusto Monteza Arbulú
Asesor

LAMBAYEQUE – PERÚ

2020

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a mis padres: Adela Ramos y Demetrio Bustamante, quienes siempre me inculcaron buenos valores, por su apoyo incondicional y por mostrarme el camino hacia la superación.

A mi familia, que siempre me apoyaron en todo momento. A ellos que con sus buenos consejos me dieron el aliento necesario para seguir adelante hasta cumplir con mi objetivo.

José H. Carranza Bustamante

El presente trabajo de investigación está dedicado a mis padres, por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida. A mi familia y amigos que me acompañaron en esta etapa, apoyando a mi formación tanto profesional como ser humano.

Wilde H. Romero Olivares

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme salud y sabiduría para lograr finalizar esta etapa de mi vida. A mis padres, familia y amigos por su apoyo incondicional, que siempre supieron guiarme por el camino del bien, inculcándome valores, aportando a mi formación profesional y como ser humano.

Mi agradecimiento al Dr. César Monteza, Asesor, por toda la colaboración brindada durante la elaboración de la tesis.

José H. Carranza Bustamante

Mi agradecimiento es para mis padres, quienes son mi motor y mi mayor inspiración, que a través de su amor, paciencia y buenos valores ayudan a trazar mi camino.

Wilde H. Romero Olivares

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN	9
I. ANTECEDENTES Y BASE TEÓRICA.....	11
1.1 Antecedentes	11
1.2 Base teórica	14
1.3 Operacionalización de variables.....	26
1.4 Hipótesis.....	26
II. MÉTODO Y MATERIALES.....	27
2.1 Tipo de investigación	27
2.2 Método de investigación	27
2.3 Diseño de contrastación de la hipótesis.....	31
2.5 Materiales, técnicas e instrumentos de recolección de datos	32
2.6 Procesamiento y análisis de los datos	34
Análisis estadístico.....	34
III. RESULTADOS.....	37
3.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	37

3.2 Sólidos suspendidos totales (SST)	41
IV. DISCUSIÓN	45
V. CONCLUSIONES	47
VI. RECOMENDACIONES.....	48
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
ANEXOS	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Taxonomía de la lenteja de agua	22
Tabla 2: Composición química de la <i>Lemna minor</i>	23
Tabla 3: Operacionalización de variables	26
Tabla 4: Factores y niveles para la <i>Lemna minor</i>	32
Tabla 5: Análisis de varianza para biorremediación (DBO ₅) - suma de cuadrados tipo III	34
Tabla 6: Pruebas de múltiple rangos para biorremediación (DBO ₅) por concentración – método: 95.0 porcentaje Tukey HSD	35
Tabla 7: Pruebas de múltiple rangos para biorremediación (DBO ₅) por tiempo- método: 95.0 porcentaje Tukey HSD	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Macrófita <i>Lemna minor</i> .	21
Figura 2: Evolución del DBO ₅ en el tiempo para una biomasa de 100 g de <i>Lemna minor</i> .	37
Figura 3: Evolución del DBO ₅ en el tiempo para una biomasa de 200 g de <i>Lemna minor</i> .	38
Figura 4: Evolución del DBO ₅ en el tiempo para una biomasa de 300 g de <i>Lemna minor</i> .	39
Figura 5: Evolución del DBO ₅ en el tiempo para tres biomasas de 100, 200 y 300 g de <i>Lemna minor</i> .	40
Figura 6: Evolución de los SST en el tiempo para una biomasa de 100 g de <i>Lemna minor</i> .	41
Figura 7: Evolución de los SST en el tiempo para una biomasa de 200 g de <i>Lemna minor</i> .	42
Figura 8: Evolución de los SST en el tiempo para una biomasa de 300 g de <i>Lemna minor</i> .	43
Figura 9: Evolución de los SST en el tiempo para tres biomasas de 100, 200 y 300 g de <i>Lemna minor</i> .	44

RESUMEN

La presente investigación tuvo como principal objetivo determinar el efecto de la concentración y tiempo de contacto de tres biomásas de *Lemna minor* en la biorremediación de aguas residuales domésticas del “Dren 2000”, ubicado en el departamento de Lambayeque. El diseño de la investigación fue experimental bifactorial. Para obtener los datos estadísticos se usó el programa STATGRAPHICS CENTURION XVIII, se utilizó el método Winkler para determinar los análisis de la DBO₅. Se construyó 3 estanques con las siguientes medidas: largo: 45 cm; ancho: 32 cm y altura: 25 cm. La muestra fue 90 L de agua residual doméstica y 600 g de biomasa de *Lemna minor*. Se colocó 30 L de agua residual doméstica en cada estanque con las biomásas de 100, 200 y 300 g de *Lemna minor* y se codificó de la siguiente manera; M1 (biomasa de 100 g de *Lemna minor*), M2 (biomasa de 200 g de *Lemna minor*) y M3 (biomasa de 300 g de *Lemna minor*), teniendo una duración de 8 semanas de tratamiento.

La concentración inicial de la DBO₅ fue 269.7 mg/L, excediendo los límites máximos permisibles para vertidos a cuerpos de aguas permitidas por el DS 003-2010- MINAM. En conclusión, se biorremedió las aguas residuales domésticas mediante tres biomásas de *Lemna minor*. Con la M1 se disminuyó hasta 88.95 mg/L, con la M2, 83.98 mg/Ly con la M3 hasta 81.57 mg/L, en un periodo de 5 semanas. A partir de la sexta semana la concentración de la DBO₅ tiende a subir en las tres biomásas. Para los SST, la concentración inicial fue 52 mg/L. Con la M1 se disminuyó hasta 22 mg/L; con la M2, 20 mg/Ly con la M3 hasta 18 mg/L, en un periodo de 5 semanas. A partir de la sexta semana la concentración de los SST tiende a subir en las tres biomásas.

Palabras Claves: *Lemna minor*. Biorremediación. DBO₅.

ABSTRACT

The main objective of this investigation was to determine the effect of the concentration and contact time of three *Lemna minor* biomass on the bioremediation of domestic wastewater from the "Dren 2000", located in the department of Lambayeque. The research design was bifactorial experimental. The STATGRAPHICS CENTURION XVIII program was used to obtain the statistical data, the Winkler method was used to determine the BOD₅ analyzes. 3 ponds were built with the following measures: length: 45 cm; width: 32 cm and height: 25 cm. The sample was 90 L of domestic wastewater and 600 g of *Lemna minor* biomass. 30 L of domestic wastewater was placed in each pond with the biomass of 100, 200 and 300 g of *Lemna minor* and coded as follows; M1 (biomass of 100 g of *Lemna minor*), M2 (biomass of 200 g of *Lemna minor*) and M3 (biomass of 300 g of *Lemna minor*), having a duration of 8 weeks of treatment.

The initial concentration of BOD₅ was 269.7 mg/L, exceeding the maximum permissible limits for discharges to bodies of water permitted by DS 003-2010-MINAM. In conclusion, domestic wastewater was bioremediated using three *Lemna minor* biomass. With M1, it decreased to 88.95 mg/L, with M2, 83.98 mg/L and with M3 to 81.57 mg/L, over a period of 5 weeks. As of the sixth week the concentration of BOD₅ tends to rise in all three biomass. For OSH, the initial concentration was 52 mg/L. With M1 it was decreased to 22 mg/L; with M2, 20 mg/L and with M3 up to 18 mg/L, in a period of 5 weeks. As of the sixth week, the concentration of OSH tends to rise in all three biomass.

Keywords: *Lemna minor*. Bioremediation. BOD₅.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se cuenta con 3.928 km³/año de agua residual. El 44% de esta agua se consume en la actividad agrícola por medio de la evaporación en las tierras de cultivo y el 56% sobrante es vertido sin tratamiento alguno al ambiente (Organización de las Naciones Unidas agrícolas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2017).

Según el especialista en agua y saneamiento del Banco Mundial, Yee-Batista (citado en la Organización de las Naciones Unidas agrícolas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2017) comenta que el 80% de los ciudadanos latinoamericanos vive en localidades próximos a fuentes contaminadas, lo que ocasiona secuelas ecológicas con gran dificultad para solucionar.

En la revista titulada “Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú”, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (citado en Larios, González y Morales, 2015) identificó que el 70% de las aguas negras en el Perú no cuentan con un tratamiento adecuado; de las 143 plantas que existen para tratar sus aguas, menos del 1% pertenecen a la industria y solo el 14% cumplen con el estatuto actual para ejecutar su trabajo.

En el 2009, 786 millones de metros cúbicos de aguas residuales no cuentan con un debido tratamiento; entre ellas la ciudad de Lima, con 511 metros cúbicos de agua residual sin tratar y la provincia constitucional del Callao con 325 metros cúbicos. Existiendo un promedio de 143 plantas de tratamiento de agua, donde solo funcionan 7 de ellas (Larios et al., 2015).

Lambayeque no es ajena a esta problemática, ya que presenta aguas residuales municipales y domésticas no tratadas. La Autoridad Nacional del Agua informó que el último monitoreo realizado en el río Chancay Lambayeque se encontró la presencia de hierro y coliformes termotolerantes originados por vertimientos de aguas residuales domésticos municipales sin tratamiento y con tratamiento inadecuado de las localidades aledañas (Ministerio de Agricultura y Riego, 2013).

El uso de plantas macrófitas para tratar aguas residuales ha generado gran interés por la capacidad que presenta para lograr purificarlas, otorgando un tratamiento completo, removiendo la carga orgánica y sólidos suspendidos, además se logran disminuir sales diluidas, metales pesados y patógenos (García, 2012).

En base a la realidad problemática señalada, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el efecto de la concentración y tiempo de contacto de tres biomásas de *Lemna minor* en la biorremediación de aguas residuales domésticas?, cuya hipótesis de estudio es: La mayor concentración de biomasa de *Lemna minor* biorremediará en menor tiempo las aguas residuales domésticas.

Esta investigación pretende tratar aguas residuales domésticas del dren 2000, ubicado en el departamento de Lambayeque, utilizando tres biomásas de 100, 200 y 300 g de la macrófita *Lemna minor* y diferentes tiempos de contacto para lograr su biorremediación; se utilizó el método Winkler para determinar su DBO₅ y lograr las concentraciones permitidas por el DS 003-2010- MINAM. Para ello se ha considerado plantear como objetivo general: Determinar el efecto de la concentración y tiempo de contacto de tres biomásas de *Lemna minor* en la biorremediación de aguas residuales domésticas; con los siguientes objetivos específicos: Determinar la demanda bioquímica de oxígeno presente en las aguas residuales domésticas antes del tratamiento; biorremediar las aguas residuales domésticas con tres biomásas de *Lemna minor*; evaluar periódicamente la demanda bioquímica de oxígeno del agua residual doméstica; e identificar el tiempo de saturación de la absorción de la *Lemna minor* con cada biomasa aplicada en las aguas residuales domésticas.

I. ANTECEDENTES Y BASE TEÓRICA

1.1 Antecedentes

Campos & Alvarado (2018) en su trabajo de investigación tuvo como objetivo principal determinar la influencia del tratamiento de las aguas residuales industriales de la empresa Cotexsur, utilizando la planta acuática *Lemna minor*. La investigación fue de tipo aplicada y diseño experimental con enfoque cuantitativo, la muestra se tomó considerando la conveniencia y criterios previamente evaluados por los tipos de análisis realizados y el tratamiento planteado. Ciertas variedades de plantas macrófitas tienen la capacidad de absorber o retener diversos contaminantes; y se ha determinado que la variedad conocida como *Lemna minor* presenta este tipo de propiedades. Se realizó tres ensayos de tratamientos variando las cantidades de *Lemna minor* (100, 200 y 300 g); manteniendo constante el tiempo de retención de 10 días que fueron analizados a los 3,6 y 10 días del tratamiento y con volumen del efluente residual constante. Los resultados indican que en cuanto a los parámetros que determinan la contaminación orgánica; se logró disminuir la DBO₅ en (61%); el DQO se redujo en (68%) y la concentración de sólidos suspendido totales en (61%). El procesamiento de los resultados obtenidos y los análisis de datos indican que, respecto al objetivo general y en respuesta a la hipótesis general, se concluye que el uso de *Lemna minor* influye en el tratamiento de la contaminación orgánica de los efluentes industriales de Cotexsur, Lurín 2017; la cantidad óptima de tratamiento fue con 100 g de *Lemna minor* y que en comparación de los tres tratamientos existen diferencias significativas. El Análisis ANOVA de dos factores indica que existe diferencia significativa y se corrobora con la prueba HSD Tukey con un nivel de significancia del 5%.

Garay (2017) en su investigación tuvo como principal objetivo determinar la eficacia de las macrófitas Jacinto y lenteja de agua para disminuir el Boro. Para el diseño de investigación se emplearon 3 peceras de 20 cm de ancho, 39 cm de largo y 19 cm de

profundidad, con una muestra de 30 litros empleando Jacinto de agua, aproximadamente 3 kg al igual que la lenteja se emplearon 3 kg, esta cantidad se escogió previa experimentación. En la primera pecera se incorporaron 3 kg de Jacinto de agua, en la segunda 3 kg de la lenteja de agua y la tercera se incluyeron las dos plantas acuáticas, el monitoreo se dio durante 3 semanas. A lo que resultó la disminución del boro, con el Jacinto de agua redujo a 6.88 mg/L, con la lenteja de agua hasta un 26.93 mg/L y con el tratamiento mixto hasta un 27.41 mg/L, se mostró la variación del pH y la temperatura durante esas semanas, en la primera semana con la M1: 8.71 pH, en la M2: 8.68 pH, y en la M3: 8.74 pH, manteniendo una temperatura promedio de 24.6°C en las 3 muestras. En la segunda semana el pH de las muestras fue; en la M1: 8.67 pH, en la M2: 8.66 pH y en la M3: 8.71 pH, manteniendo las 3 una temperatura de 23.9°C. En la tercera semana del monitoreo, el pH de las muestras fue, en la M1: 8.54 pH, en la M2: 8.63 pH y en la M3: 8.60 pH, manteniendo una temperatura de 24.1°C. Concluyendo que el uso del Jacinto de agua es la planta adecuada para una alta remoción de contaminantes y metales como el Boro.

Luna, Campos & Medina (2016) en su trabajo de investigación evaluó el uso del Pasto Alemán y lenteja de agua como especies fitorremediadoras para tratar aguas residuales. Se elaboraron tres piscinas de dimensión de 1m x 1m x 0.45m de material hormigón, con un proceso de adaptación de 2 semanas para las plantas, el monitoreo y control se realizó durante 7 semanas con supervisión de una vez a la semana en caso de alteraciones. Resultando que con el uso de la lenteja de agua mantiene la temperatura entre 20-23°C, disminuyó en DBO₅ de 56 mg/L a 33 mg/L en 7 días y en 14 días en un aproximado de 2 mg/L. En cuanto al DQO inició con una concentración de 142 en 7 días a 150 y en 14 días a 32 mg/L; Turbidez de 83 NTU en 7 días a 54 NTU y en 21 días a 17 NTU. Con el pasto Alemán no se disminuyen ciertos parámetros que presentan altas concentraciones, por lo que se recomendó el uso de la Lenteja de agua por su alta remoción a los 21 días.

Rodríguez, Gómez, Garavito y López (2010) en su investigación se planeó la idea de tratar aguas residuales, con la elaboración de dos humedales artificiales de flujo superficial o libre. En cuanto a su desarrollo experimental, se colocó cada especie de planta macrófita donde posteriormente pasará agua residual doméstica, industrial e institucional. El primer reactor se usó para instalar el buchón de agua o Jacinto de agua, tiene un 1.20 m de largo, 0.40 m de ancho y 0.60 m de profundidad. El segundo reactor en donde se estableció la lenteja de agua, con un largo de 0.90 m, un ancho de 0.30 m y una profundidad de 0.40 m. Resultando la remoción de materia orgánica de entre 70 y 86% al utilizar el Jacinto de agua y de 58% cuando se utiliza lenteja de agua. Llegando a la conclusión de que dicho sistema lleva el comportamiento de un modelo de flujo pistón, sin importar el tipo de macrófita que se emplee. Se observó que, al utilizar la lenteja de agua en uno de los humedales, ésta produjo que el agua aumente el pH; mientras que con Jacinto de agua el pH del agua se estabilizó, además favoreció al reducir en grandes cantidades la materia orgánica.

García (2012). En su trabajo de investigación, el propósito primordial fue identificar si el sistema planteado con macrófitas disminuye en grandes cantidades los contaminantes y analizar si es eficiente dicho sistema a comparación de los ya existentes en nuestro país. El proyecto se llevó a cabo de la siguiente manera: El primer proyecto se ejecutó en Alemania utilizando *Azolla filiculoides* y el segundo proyecto de investigación empleó *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* en CITRAR-Lima, elaborando un flujo continuo que imita a un sistema para tratar aguas contaminadas. Lo que resultó es la notable diferencia entre la remoción de los parámetros físico-químicos. Con el Jacinto de agua en cuanto a turbidez removió un 72% y la lenteja de agua un 65%. Con el parámetro de oxígeno disuelto tuvo presencia de remoción en un 73% con el Jacinto de agua. En el parámetro microbiológico la DBO₅ del agua al usar la lenteja de agua tuvo una remoción del 96.7%. El pH del agua inicialmente fue 10.4 y que al usar el Jacinto de agua bajo a 6.86 y con la lenteja de agua tuvo un ligero

descenso hasta 9.83. En donde se concluyó que el tratamiento con Jacinto de agua mostró reducción de agentes contaminantes entre los 52% al 86% en un periodo de 5 días, en el caso de DBO₅ se removió un 26.7% en 2.5 días. Con esto se demuestra la eficiencia de esta especie ya que redujo DBO₅, DQO, sólidos suspendidos y turbidez. Se considera el Jacinto de agua una de las plantas macrófitas con alta eficacia para la remoción de impurezas presentes en el agua, solo en 3 días se disminuyó la conductividad en un 42% ya que logró absorber grandes cantidades de sólidos en suspensión y siendo con capacidad de eliminar un 100% Nitrógeno amoniacal.

1.2 Base teórica

1.2.1 Contaminación del agua

Según el Ministerio de Ambiente (s.f.) la contaminación del agua es acumulación de sustancias tóxicas y derrames de fluidos en el agua alterando su calidad.

Pérez y Espigares (1995) en su informe comenta que la polución del agua es la modificación dada por acción del hombre, convirtiéndola impura y dañina para uso humano, la ganadería, la industria y la agricultura. Esto se debe principalmente al crecimiento poblacional ya que así aumenta la cantidad de agentes contaminantes que vienen de las actividades del hombre sin pensar en la saturación de los recursos del ambiente que nos rodea.

1.2.2 Aguas residuales

“Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias” (Díaz, Alvarado & Camacho 2012).

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, por intermedio del Ministerio del Ambiente (Ministerio del Ambiente, s.f.) define a las aguas residuales como:

“Aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado”.

La clasificación de aguas residuales en su informe basado en la Fiscalización Ambiental de aguas residuales (Ministerio del Ambiente, s.f.) es de la siguiente manera:

1.2.2.1 Aguas residuales domésticas

De origen comercial y residencial que posee residuos, provenientes de las acciones que realiza el hombre y deben contar con una disposición adecuadamente.

1.2.2.2 Aguas residuales municipales

Son aguas domésticas que se combinan con aguas de drenaje o con aguas provenientes de industrias, que cuentan con un tratamiento para posteriormente formar parte de sistemas de alcantarillado.

1.2.2.3 Aguas residuales industriales

Son las consecuencias de compañías que realizan procesos productivos, incluyéndose a las que provienen de la actividad, agrícola, energética, agroindustrial, etc.

1.2.3 Constituyentes del agua residual

Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. Las aguas contaminadas poseen sólidos suspendidos, materia orgánica y agente patógeno por lo que el diseño de las plantas para tratar estas aguas debe ser eficiente en su remoción (García, 2012).

En el libro Ingeniería de aguas residuales titulado “Tratamiento, vertido y reutilización” de Cajigas (1995) comenta que según sus características físicas se distribuyen en temperatura que va desde los 10°C hasta los 25°C. La turbidez que es presencia de material orgánico y microorganismos de tamaño pequeño en el agua. El color siempre suele ser gris y el olor que posee es fétido. Los sólidos totales muestran las sales, metales que se encuentran diluido en el agua, alterando su pureza. En cuanto a las características químicas que identifican la estructura del agua residual son la materia orgánica ya que existe la presencia de grasas, aceites, proteínas. Para poder identificar la cantidad de dicha materia orgánica usamos los parámetros de la demanda bioquímica de oxígeno para reconocer el porcentaje de oxígeno que van a emplear los organismos para descomponer la materia orgánica. La materia inorgánica se puede medir a través del pH que va a indicar si el agua es básica o ácida, el pH se mide en un rango de 0 a 14, en donde 7 es neutro, de 0 a 6 es ácido y de 8 a 14 es básico. La Conductividad que es la presencia de sales en el agua y es aquí donde encontramos iones positivos y negativos, además de reconocer la presencia de cloruros y fosfatos en el agua. La alcalinidad es la presencia de carbonatos, hidróxidos, bicarbonatos. El oxígeno disuelto que se define como el porcentaje de oxígeno en el agua, si existen bajas cantidades oxígeno en el agua quiere decir que se encuentra contaminada.

1.2.4 Plantas macrófitas

Las plantas acuáticas, denominadas también macrófitas, cumplen un papel muy importante en los ecosistemas acuáticos. Brindan directa o indirectamente alimento, protección y un gran número de hábitats para muchos organismos de estos ecosistemas. Muchas de estas plantas son útiles para el ser humano, puesto que sirven de alimento, son materia prima para la industria y se usan en procesos de biorremediación, ya que pueden absorber algunas sustancias disueltas y brindar oxígeno mediante la fotosíntesis.

Sin embargo, en algunos cuerpos de agua artificiales podrían crear problemas, porque pueden interferir con el uso que le da el hombre a esa agua al obstruir su flujo o la navegación y al crear ambientes propicios para plagas, enfermedades y vectores que afectan la salud humana (Cook y Gut, 1974).

Las macrófitas ocupan diversas zonas de los ecosistemas acuáticos. Dentro del grupo de plantas flotantes es frecuente observar en lagunas o en las áreas de flujo lento en ríos y quebradas la planta denominada *Lemna minor*, conocida comúnmente como lenteja de agua o duckweed (Roldán, 1992).

Caicedo (citado en García, 2012) afirma que: “Las plantas acuáticas son aquellas que requieren una gran cantidad de agua en sus raíces para vivir, crecen en medios muy húmedos y completamente inundados, básicamente tienen los mismos requerimientos nutricionales de las plantas terrestres.”

Según el diccionario de botánica (Ruiz, Acero, Lorén, Russo y Lapuente, 2017) se define a plantas macrófitas como: “Plantas macrófitas, a aquellas que pueden vivir en terrenos inundados durante toda su vida o encharcadas durante largos periodos de tiempo.”

1.2.5 Clasificación

Las plantas macrófitas emergentes son plantas que poseen órganos reproductores aéreos, logran vivir en el suelo de forma perenne o temporal.

En el caso de las plantas de hojas flotantes los órganos reproductores son flotantes o aéreos y viven sobre suelos saturados de agua (Delgadillo, Camacho, Pérez & Andrade).

1.2.5.1 Plantas acuáticas sumergidas

Plantas cuyas raíces y follaje crecen bajo el agua y contribuyen a que el agua se oxigene evitando el desarrollo de algas (Ellmore, 1981).

1.2.5.2 Plantas acuáticas flotantes

Son especies no arraigadas que revisten la superficie de los estanques para disminuir o eliminar el desarrollo de algas, además de cumplir con la función de clarificar el agua.

Las macrófitas sumergidas son halladas en las partes donde llegue la luz solar, lo que ocasiona que no logren sobrevivir las angiospermas sino se encuentran por debajo de los 10 metros de profundidad, contando con órganos reproductores aéreos, flotantes o sumergidos (Arreghini, s.f.).

1.2.5.3 Plantas acuáticas flotantes libres

Tienen como característica primordial que no se desarrollan en el suelo, sin importar los tipos o los tamaños de las planta (Ellmore, 1981).

1.2.6 Tratamiento de aguas residuales con plantas macrófitas

Las macrófitas acuáticas han sido consideradas por varios autores como una plaga debido a su rápido crecimiento, ya que en ocasiones llegan a invadir lagunas, represas, canales de riego y generan varios problemas, al interrumpir el flujo del agua, propiciar eutroficación y crear ambientes para la crianza de vectores de enfermedades (Zambrano 1974, Cook et al. 1974).

Elaborar estanques artificiales con plantas macrófitas y usarlas para tratar aguas residuales ha generado gran interés, por la capacidad que presenta para lograr purificarlas. La mayoría de estos sistemas han permitido otorgar un tratamiento completo, en donde no sólo se remueve con eficiencia la carga orgánica y sólidos suspendidos, sino que además lograron disminuir sales diluidas, metales pesados y patógenos. En la fábrica de Imusa S.A. localizada en el municipio de río negro (Antioquía), Colombia, se trabaja desde 1988 con la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), se ha confirmado que es eficiente en cuanto a la disminución de los distintos

contaminantes, logra alcanzar más de 97% en remover parámetros físico-químicos y metales pesados (García, 2012).

Pedraza (1997) comentó que la demanda bioquímica de oxígeno disminuyó de 247 a 149 mg/L y una reducción en los sólidos suspendidos totales de 214 a 58 mg/L en una granja porcina en el valle del Cauca utilizando este sistema de tratamiento.

Jaramillo y Flores (2012) mencionan que los humedales artificiales es una alternativa a las tecnologías convencionales como tratamiento para aguas residuales, de irrigación, para tratar lixiviados, residuos de tanques sépticos, entre otros, ya que tienen la capacidad de remover contaminantes con procesos biológicos, vinculados con el material particulado y con la absorción a corto plazo.

Se clasifican en flujo superficial donde flujo del agua se hace a través de las hojas y los tallos y Flujo subsuperficial donde el flujo de agua se da sólo en las raíces y rizomas (Jaramillo y Flores, 2012).

1.2.7 Propiedades de las plantas macrófitas en sistemas de tratamiento

Las plantas macrófitas son de suma importancia en el funcionamiento de un sistema ya que favorece con el oxígeno a los microorganismos en la parte del suelo inmediata a la raíces, pueden absorber grandes cantidades de nutrientes, y eliminar contaminantes de las aguas negras , algas u otras sumergidas, con vistas a explorar su posible valor, las macrófitas acuáticas flotantes, la lenteja de agua (*Lemna minor*) y Jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*) son del grupo de las plantas que se han ido evaluando en gran magnitud y que con el tiempo se viene confirmando su eficiencia como purificador de aguas contaminadas. Estas plantas tienen como objetivo disminuir en gran porcentaje de carga orgánica y otros agentes patógenos industriales para mejorar su condición y reafirmar su eficiencia para tratar aguas contaminadas (Arroyave, 2004).

Las macrófitas retienen sólidos gruesos ya que actúan como barrera, beneficia en la sedimentación de partículas en suspensión, actúan como soporte pasivo de microorganismos (bacterias, protozoos y algas microscópicas) y crean un medio adecuado para su desarrollo, que son partícipes de la descomposición de la materia orgánica. Además, cabe destacar el intercambio gaseoso desde las hojas hasta la raíz que está en contacto con el agua, la extracción de contaminantes y el envío del oxígeno del aire hasta sus raíces lo que favorece en la degradación de la carga orgánica en las raíces con ayuda de los microorganismos. Las plantas se oxigenan a través de un sistema de aireación presente en sus tejidos, contienen lenticelas que son pequeñas aberturas en las hojas y en el tallo hace que aire ingrese a la planta (Basantes, 2016).

La extracción de contaminantes guarda relación con los factores intrínsecos de la planta, la cantidad que remueva va a depender del rendimiento de la planta. Existen 3 grupos de elementos que necesitan las plantas que son los macronutrientes cuya proporción en la composición de la planta es de 1-2%, 0.1-1% y 0.5-1% del peso seco, en algunas cosas con la *Lemna minor* puede llegar a mayor porcentaje por ejemplo el contenido de nitrógeno al 7%; micronutrientes con proporción es menor a 0.5%; los oligoelementos que se encuentran en pequeñas proporciones en los tejidos (Fernández et al., 2010).

1.2.8 Proceso de remoción de contaminantes de las plantas macrófitas

1.2.8.1 Materia orgánica.

Los procesos que producen la remoción de la materia orgánica son los físicos y biológicos, que se encuentran sumamente relacionados. La materia orgánica puede encontrarse en forma de partículas, coloides, supracoloides o disuelta. El proceso físico que interviene es la floculación, sedimentación, absorción y adsorción. El proceso biológico interviene a través de los organismos vivos e influyen en el pH, la temperatura, estos procesos causan reacciones de oxidación, hidrólisis y fotólisis para

degradar materia orgánica. Esta materia ya degradada sirve para el desarrollo de los microorganismos, la disponibilidad del oxígeno se va a determinar por el DBO₅ y es este parámetro el que condiciona el tipo de microorganismo que intervienen en la degradación y lo convierten en minerales, gases, y biomasa microbiana. Los microorganismos anaerobios utilizan compuestos diferentes al oxígeno como aceptores de electrones, por ejemplo, nitratos, carbonatos o sulfatos, dando lugar a compuestos reducidos del tipo de óxidos de nitrógeno, nitrógeno, azufre, tiosulfato. Estas reacciones son menos eficientes que las que ocurren en ambientes aerobios, y para que la reducción de la contaminación orgánica sea significativa tiene que liberarse metano o hidrógeno. Al transferir el oxígeno al agua residual desde las partes sumergidas de las plantas emergentes se produce como consecuencia de la existencia de vías de aireación interconectadas en los tejidos de estas plantas (aerénquima) (Fernández et al., 2010).

1.2.9 *Lemna minor* o lenteja de agua



Figura 1: Macrófita *Lemna minor*. Elaboración propia (2019).

1.2.9.1 Taxonomía

Tabla 1

Taxonomía de la lenteja de agua

Reino	Plantae
División	Fanerógama Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Alismatales
Familia	Araceae
Subfamilia	Lemnoideae
Tribu	Lemneae
Género	Lemna
Especie	Lemna minor

Nota. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Lemna_minor

1.2.9.2 Descripción de la *Lemna minor*

Lemna minor es una planta angiosperma. Su cuerpo vegetativo corresponde a una forma taloide, es decir, en la que no se diferencian el tallo y las hojas. Consiste en una estructura plana y verde y una sola raíz delgada de color blanco (García, 2012).

Según (Cook, Gut, Rix, Schneller, y Seitz, 1974) comenta: “El talo ha sido interpretado de diversas formas como un tallo modificado, una hoja o como parcialmente tallo y hoja.”

Según el Instituto Gallach (citado en Arroyave, 2004) consideran que el talo es una hoja modificada que desempeñan la función de tallo, la hoja y el eje florífero.

Su tamaño es pequeño, va de 2 a 4 mm de longitud y 2 mm de ancho. Son las especies más pequeñas que encontramos en el reino de las plantas (Arroyave, 2014).

Se caracterizan por no tener hojas, tienen forma de lenteja, formada por un parénquima fotosintético en la parte superior de la lenteja y un parénquima aerífero para poder flotar, en la cara inferior, surgiendo de este último una o varias raicillas.

Estas estructuras son solitarias o forman grupos de 2 o 3, como resultado del proceso de multiplicación vegetativa (Fernández et al., 2010).

La lenteja de agua es unisexual. Las flores masculinas están constituidas por un solo estambre y las flores femeninas consisten en un pistilo formado por un solo carpelo (Arroyave, 2004).

La forma más común de reproducción es la asexual por gemación. En los bordes basales se desarrolla una yema pequeña que origina una planta nueva que se separa de la planta progenitora (Instituto Gallach, 1984).

1.2.9.3 Composición química

Tabla 2

Composición química de la Lemna minor

Constituyentes	Porcentaje (%)
Agua	86-97
Proteína	31.19
Lípidos	5.58
Fibra	8.22
Fósforo	1.44

Nota. Recuperado de Fernández et al., (2010).

1.2.9.4 Distribución geográfica

Es una planta con distribución universal. Se ha encontrado en varias regiones de los hemisferios norte y sur, incluyendo América, Europa, Asia, Australia y Nueva Zelanda. Se encuentra principalmente en charcos de agua dulce, ciénagas, lagos y ríos calmados (Armstrong, 2003).

De acuerdo con Roldán (1992), *Lemna minor* es una planta acuática flotante de rápido crecimiento y de amplia distribución tropical y subtropical, que se desarrolla principalmente en lagunas.

1.2.9.5 Parámetros que tolera la *Lemna minor*

En aguas calmadas y ricas en nutrientes, con altos niveles de nitrógeno y fosfatos; resulta difícil desarrollarse en presencia de hierro y toleran un rango de pH entre 4,5 y 7,5 (Arroyave, 2004).

El Instituto Gallach (citado en Arroyave, 2004) expresa lo siguiente: La planta puede desarrollarse en temperaturas, que varía entre 5° y 30°C, con crecimiento óptimo de 15° y 18°C. Se adapta con rapidez a condición iluminadas, crece en partes con flores unisexuales, en inflorescencias compuestas por dos flores masculinas y una femenina, ubicadas en una pequeña depresión del cuerpo lenticular. Tanto las flores masculinas como femeninas no presentan periantio; las masculinas están reducidas a un estambre; las femeninas a un ovario unilocular. La floración en las *Lemnáceas*.

Según (Olguín y Hernández, 1998), las características que deben contar las plantas acuáticas usadas para tratar aguas contaminadas son eficiencia de remoción de nutrientes y contaminantes. La *Lemna minor* cumple con todas estas y gracias a esto ha sido empleada en sistemas de depuración.

1.2.9.6 Usos de la *Lemna minor*

Las plantas acuáticas son un recurso altamente productivo de biomasa con alto valor proteínico y pueden constituirse en un complemento ideal en la alimentación de animales domésticos (Chará, 1998).

Si las plantas acuáticas son cultivadas en aguas residuales, pueden ser utilizadas para la alimentación de animales, siempre y cuando las aguas tratadas no contengan sustancias tóxicas, y si éste es el caso, la biomasa obtenida podría utilizarse para producir metano, por medio de la digestión anaerobia (Olguín y Hernández, 1998).

La lenteja de agua alcanza niveles de proteína hasta un 38% de su biomasa. Este contenido proteínico, junto con su alta palatabilidad y su facilidad de suministro, la hace ideal para alimentación de cerdos, aves o ganado (Chará, 1998).

Lemna minor se ha ensayado como alimento para patos domésticos y los resultados en aumento de peso y producción de huevos fueron comparables al suplemento proteínico usual, con la ventaja de presentarse una disminución de un 25% en los costos de alimentación (Bui et al. 2002).

También la lenteja de agua ha sido utilizada en México con el fin de alimentar cerdas gestantes y lechones, reemplazando la proteína proveniente de torta de soya en un 80%, con muy buenos resultados en producción. En Venezuela se usa conjuntamente harina de pescado con *Lemna minor* y *Azolla filiculoides* en raciones para cerdos (Chará, 1998).

Zayed (1998) investigó el potencial de la lenteja de agua para acumular cadmio, cromo, cobre, níquel, plomo y selenio. Los resultados demostraron que, en condiciones experimentales de laboratorio, la planta resultó ser un buen acumulador de Cd, Se y Cu, un acumulador moderado de Cr y pobre acumulador de Ni y Pb. Las concentraciones más altas de cada elemento acumulada en los tejidos de la lenteja de agua fueron de 13,3 g Cd/kg, 4,27 g Se/kg, 3,36 g Cu/kg, 2,87 g Cr/kg, 1,79 g Ni/kg y 0,63 g Pb/kg. Se concluye en el estudio que la lenteja de agua tiene un buen potencial para la remoción de cadmio, selenio y cobre de aguas residuales contaminadas con estos elementos, ya que puede acumular concentraciones altas de ellos. Su rápido crecimiento la hace una planta apropiada para actividades de fitorremediación.

1.3 Operacionalización de variables

1.3.1 Variables independientes

Biomasa de *Lemna minor*.

Tiempo de contacto.

1.3.2 Variable dependiente

Biorremediación de aguas residuales domésticas.

Tabla 3

Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicador	Índice
Vi: Biomasa de <i>Lemna minor</i>	masa	g	100 - 200 - 300
Vi: Tiempo de contacto	días	días	0 - 54
Vd: Biorremediación	DBO ₅	ppm	269.70 – 81.57
	SST	ppm	52 - 18

Nota. Elaboración propia (2019).

1.4 Hipótesis

La mayor concentración de biomasa de *Lemna minor* biorremediará en menor tiempo las aguas residuales domésticas.

H_0 : La mayor concentración de biomasa de *lemna minor* no biorremediará en menor tiempo las aguas residuales domésticas.

H_1 : La mayor concentración de biomasa de *lemna minor* biorremediará en menor tiempo las aguas residuales domésticas.

II. MÉTODO Y MATERIALES

2.1 Tipo de investigación

Experimental bifactorial.

2.2 Método de investigación

Se llevó a cabo el método Winkler para determinar la DBO_5 para evaluar la remoción de nutrientes en las aguas residuales domésticas del dren 2000 ubicado en el departamento de Lambayeque mediante tres biomásas de 100, 200 y 300 g de *Lemna minor*. Adicional se evaluó los sólidos suspendidos totales, (SST), pH, conductividad eléctrica y temperatura. Las cuales fueron realizadas por el laboratorio de control de calidad EPSEL S.A. por lo que los resultados fueron acreditados por el director del laboratorio encargado.

2.2.1 Método DBO_5 Winkler según Aguinaga (1996).

2.2.1.1 Equipos y materiales

- Botellas de incubación, de 300 mL de capacidad, preferentemente con sello de agua. Las botellas deben ser lavadas con detergente, bien enjuagadas y secadas antes de su uso.
- Incubadora controlada termostáticamente a $20 \pm 1^\circ\text{C}$. Excluir toda luz para prevenir la posibilidad de producción de oxígeno disuelto por fotosíntesis.
- Electrodo de membrana selectiva al oxígeno, con compensación automática de temperatura y medidor apropiado.

2.2.1.2 Reactivos

- Solución buffer de fosfato: Disolver 8.5 g de KH_2PO_4 , 21.75 g de K_2HPO_4 , 33.4 g de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y 1.7 g de NH_4Cl en 500 mL de agua destilada y diluir a 1 L. El pH debe ser 7.2.
- Solución de sulfato de magnesio: Disolver 22.5 g de sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) en agua destilada y diluir a 1L.

- Solución de cloruro de calcio: Disolver 27.5 g de cloruro de calcio (CaCl_2) en agua destilada y diluir a 1 L.
- Solución de cloruro férrico: Disolver 0.25 g de cloruro férrico (FeCl_3). $6\text{H}_2\text{O}$ y diluir a 1 L.
- Soluciones ácida y alcalina: Para neutralización de muestras cáusticas o ácidas se utilizan soluciones 1N.
- Solución ácida: Agregar 28 mL de H_2SO_4 (cc) lentamente y con agitación a agua destilada y diluir a 1L.
- Solución alcalina: Disolver 40 g de NaOH en agua destilada y diluir a 1L.
- Agua destilada.

Todos los reactivos deben ser calidad puro para análisis (ppa).

2.2.1.3 Procedimiento

2.2.1.3.1 Preparación del agua de dilución:

- Colocar un volumen deseado de agua destilada en un recipiente adecuado y adicionar 1 mL de las soluciones: Buffer de fosfato, sulfato de magnesio, cloruro de calcio, y cloruro férrico por litro de agua. Termostatar el agua de dilución previo a su uso a 20°C.
- Blanco del agua de dilución: Incubar una botella de DBO_5 llena de agua de dilución por 5 días a 20°C conjuntamente con el ensayo de la muestra. Medir la concentración de oxígeno antes y después de la incubación. El consumo de oxígeno disuelto al cabo de los 5 días no debe ser mayor de 0.2 y preferiblemente no más de 0.1 mg/L. Un consumo mayor de 0.2 indica contaminación del agua con materia orgánica.

2.2.1.3.2 Pretratamiento de la muestra

- El pH del agua de dilución no debe ser afectado por dilución de la muestra. En caso necesario ajustar entre 6.5-7.5 el pH de las muestras con una solución de ácido sulfúrico o hidróxido de sodio.
- La muestra debe estar a temperatura ambiente (aprox. 20°C) antes de realizar las diluciones.

2.2.1.3.3 Técnica de dilución

- Se realizarán como mínimo cuatro diluciones por muestra que incluyan el valor de la DBO₅ estimada. Luego de homogeneizar la muestra preparar las diluciones directamente en las botellas de DBO₅, usando pipeta graduada.
- Llenar las botellas Winkler con el agua de dilución evitando airear y de forma que al cerrarlas se hayan desplazado todas las burbujas de aire.

2.2.1.3.4 Determinación

- Medida de oxígeno disuelto de la muestra (OD_m): determinar el oxígeno disuelto de la muestra con el electrodo de oxígeno según las instrucciones del manual, evitando airear la muestra.
- Incubación: Incubar las botellas de DBO₅ conteniendo las diluciones de la muestra y el blanco del agua de dilución a 20 ± 1°C, durante 5 días.
- Medida de oxígeno disuelto final: Luego de los 5 días de incubación determinar el oxígeno disuelto en las diluciones de la muestra.

2.2.1.3 Cálculos y expresión de resultados

$$\text{DBO}_5, \text{ mg/L} = (\text{ODi} - \text{ODf}) / V_{\text{muestra}} * V_{\text{botella}}$$

Donde:

OD_i = concentración de oxígeno disuelto inicial (medido luego de la dilución)

OD_f = concentración de oxígeno disuelto final

$V_{botella}$ = capacidad de la botella de DBO_5 , (300 mL)

$V_{muestra}$ = volumen de muestra tomados para la dilución

2.2.1.4 Procedimiento experimental

2.2.1.4.1 Selección y toma de muestras

La muestra de agua residual doméstica se tomó del dren 2000, exactamente de las siguientes coordenadas: 6°42'54"S 79°55'10"W. Luego de la ubicación de los puntos de monitoreo se etiquetó las muestras, se colocó en una caja de tecnopor con hielo, se llenó la ficha de la cadena de custodia con los datos correctos y se reportó los resultados del monitoreo.

La muestra de agua residual doméstica para el pre test fue analizada en el laboratorio de EPSEL.S.A. Donde se obtuvo el análisis de DBO_5 , SST, conductividad, pH y temperatura.

La muestra de la macrófita *Lemna minor* se tomó del dren 2000 ubicado en el departamento de Lambayeque, se recolectó 600 g de *Lemna Minor*, se tuvo en cuenta las siguientes condiciones: Que tenga una buena pigmentación y que no presenten anomalías en ninguna de sus partes, vale decir macrófitas jóvenes.

2.2.1.4.2 Diseño de los estanques para la investigación

Luego de tener los resultados del análisis de la muestra control y ver que en las aguas residuales del dren 2000 hay una concentración de 269,7 de DBO_5 , sobrepasando los límites máximos permisibles para vertidos a cuerpos de agua. Se construyó tres estanques, con las siguientes medidas: largo 45 cm, ancho 32 cm y altura 25 cm. diseñados para una capacidad de 30 L de agua residual doméstica.

2.2.1.4.3 Tratamiento con las tres biomásas de *Lemna minor*

En esta investigación experimental se utilizó tres biomásas de 100, 200 y 300 g de *Lemna minor*. Se colocó cada biomasa de *Lemna minor* en su respectivo estanque con 30 L de agua residual doméstica. Realizando el monitoreo correspondiente todos los días. Cada 7 días se tomó una muestra de cada estanque para determinar la DBO₅ y comprobar si disminuye la concentración con el pasar del tiempo. Se realizó dos repeticiones de toma de muestra por estanque, el tratamiento duró 54 días.

2.2.1.4.3 Monitoreo

Se realizó el monitoreo de las tres biomásas de la *Lemna minor* durante 54 días, donde se pudo evidenciar su comportamiento en las aguas residuales. Se evidenció el cambio de color, de verdoso a amarillo, luego a tonos blanquecinos y finalmente a un color marrón claro. También se observó que a los 5 días el olor fétido del agua residual había desaparecido. A los 25 días las biomásas aumentaron muy rápido hasta llenar los estanques. En cuanto al color del agua residual se observó que se iba aclarando hasta el día 34, luego el agua se tornó turbia.

2.3 Diseño de contrastación de la hipótesis

Como biorremediador de agua residual doméstica se usó la *Lemna minor* y se estudió mediante dos factores:

Factor A (tiempo): 8 niveles

Factor B (concentración de biomasa): 3 niveles

Tabla 4*Factores y niveles para la Lemna minor*

Factor A :	Factor B: Concentración de biomasa		
Tiempo de contacto	100 g (M1)	200 g (M2)	300 g (M3)
t1	t1 M1	t1 M2	t1 M3
t2	t2 M1	t2 M2	t2 M3
t3	t3 M1	t3 M2	t3 M3
t4	t4 M1	t4 M2	t4 M3
t5	t5 M1	t5 M2	t5 M3
t6	t6 M1	t6 M2	t6 M3
t7	t7 M1	t7 M2	t7 M3
t8	t8 M1	t8 M2	t8 M3

Nota. Diseño factorial: $8 * 3 = 24$ pruebas. Elaboración propia.

Se contrasta las 2 variables independientes obteniendo 8 niveles de tiempo y 3 niveles de concentración de biomasa haciendo un total de 24 pruebas y si se repite el análisis 2 veces sumarian un total de 48 pruebas, para la *Lemna minor*.

2.4 Población y muestra

Población

La población estudiada fue el agua residual doméstica de la región Lambayeque.

Muestras

Las muestras fueron 100 L de agua residual doméstica, tomada del dren 2000 de la ciudad de Lambayeque. En cuanto a la macrófita, se tomaron 600 g de *Lemna minor*. El tipo de muestreo será no probabilístico por conveniencia.

2.5 Materiales, técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.5.1 Materiales y equipos

2.5.1.1 Materiales de campo

- Guardapolvo
- Cofia
- Guantes
- Cubreboca

- Botellas de plástico de 1 L para DBO₅
- Libreta de campo
- Caja de tecnopor

2.5.1.2 Materiales de laboratorio

- Vasos de precipitación
- Pipetas
- Bagueta
- Botellas Winkler de 300 ml

2.5.1.3 Equipos de Laboratorio

- Incubadora.
- Conductímetro de mesa.
- pH-metro.
- Electrodo de membrana selectiva al oxígeno
- Balanza electrónica.
- Estanques.

2.5.1.4 Reactivos

- Solución amortiguadora (pH =7.2).
- Solución de sulfato de magnesio.
- Solución de cloruro de calcio.
- Solución de cloruro férrico.
- Solución ácida y alcalina 1N.
- Agua destilada.

2.5.2 Técnicas de recolección de datos

Observación, medición y experimentación.

2.5.3 Instrumentos de recolección de datos

pH-metro, Termómetro, Turbidímetro, Conductímetro.

2.6 Procesamiento y análisis de los datos

Para analizar los datos se utilizó el programa estadístico STATGRAPHICS CENTURION XVIII, para poder procesar la data cuantitativa y obtener las gráficas para su interpretación.

Análisis estadístico

El Valor-P es la probabilidad real de rechazar algo que es verdadero

Valor-P $\geq \alpha \Rightarrow$ Se acepta la H_0

Valor-P $< \alpha \Rightarrow$ Se rechaza la H_0

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_1: \text{Al menos un } \mu_i \neq \mu_j$

Nivel de significación: $\alpha = 0.05$

Tabla 5

Análisis de varianza para biorremediación (DBO₅) - suma de cuadrados tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Concentración	80.7557	2	40.3779	0.53	0.5981
B:Tiempo	126944.	7	18134.8	239.54	0.0000
Residuos	1059.89	14	75.7064		
Total (Corregido)	128085.	23			

Nota: Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Con respecto al tiempo de contacto, Valor-P = 0.0000 $< \alpha = 0.05$, puesto que el valor-P es menor que 0.05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre biorremediación (DBO₅) con un 95.0 % de nivel de confianza. Con respecto a la concentración de biomasa de *Lemna minor*, Valor-P = 0.5981 $> \alpha = 0.05$, entonces se acepta la hipótesis nula. Con un 95.0 % de nivel de confianza se puede afirmar que los tratamientos empleados con las concentraciones de biomasa de *Lemna minor*, tienen el mismo efecto para disminuir la DBO₅.

Tabla 6

Pruebas de múltiple rangos para biorremediación (DBO₅) por concentración
Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS
M1	8	169.795	3.07625
M3	8	172.454	3.07625
M2	8	174.261	3.07625

Nota: Elaboración propia (2019).

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
M1 - M2		-4.46625	11.4301
M1 - M3		-2.65875	11.4301
M2 - M3		1.8075	11.4301

Nota: Indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias de las concentraciones de biomasa de *Lemna minor*, con un nivel del 95.0 % de confianza.

Tabla 7

Pruebas de múltiple rangos para biorremediación (DBO) por tiempo
Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

TIEMPO	Casos	Media LS	Sigma LS
34	3	84.8333	5.02349
42	3	91.1667	5.02349
54	3	100.66	5.02349
28	3	137.333	5.02349
21	3	198.667	5.02349
13	3	236.667	5.02349
6	3	258.333	5.02349
0	3	269.7	5.02349

Nota: Elaboración propia (2019).

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 6		11.3667	25.0585
0 - 13	*	33.0333	25.0585
0 - 21	*	71.0333	25.0585
0 - 28	*	132.367	25.0585
0 - 34	*	184.867	25.0585
0 - 42	*	178.533	25.0585
0 - 54	*	169.04	25.0585
6 - 13		21.6667	25.0585
6 - 21	*	59.6667	25.0585
6 - 28	*	121.0	25.0585
6 - 34	*	173.5	25.0585
6 - 42	*	167.167	25.0585
6 - 54	*	157.673	25.0585
13 - 21	*	38.0	25.0585
13 - 28	*	99.3333	25.0585
13 - 34	*	151.833	25.0585
13 - 42	*	145.5	25.0585
13 - 54	*	136.007	25.0585
21 - 28	*	61.3333	25.0585
21 - 34	*	113.833	25.0585
21 - 42	*	107.5	25.0585
21 - 54	*	98.0067	25.0585
28 - 34	*	52.5	25.0585
28 - 42	*	46.1667	25.0585
28 - 54	*	36.6733	25.0585
34 - 42		-6.33333	25.0585
34 - 54		-15.8267	25.0585
42 - 54		-9.49333	25.0585

Nota. Indica una diferencia significativa.

Esta tabla muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 23 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con respecto al tiempo de contacto, con un nivel del 95.0% de confianza.

III. RESULTADOS

3.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

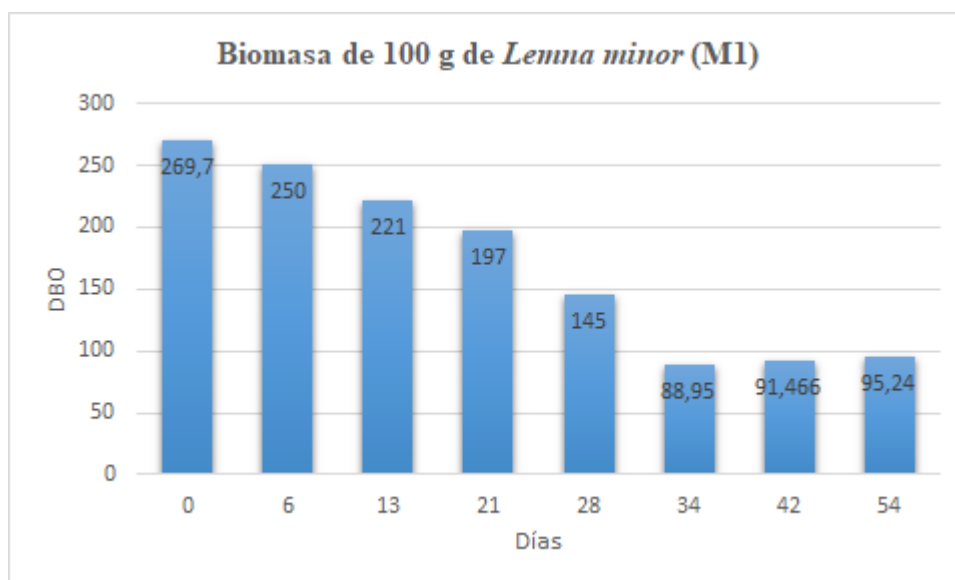


Figura 2: Evolución del DBO₅ en el tiempo para una biomasa de 100 g de *Lemna minor*. Elaboración propia (2019).

La figura 2 representa el tratamiento con 100 g de *Lemna minor*, rotulada como M1. Finalizando la primera semana se observa que la concentración de DBO₅ es de 250 mg/L; en la segunda semana la concentración es de 221 mg/L; en la tercera semana es de 197 mg/L. Se observa que la concentración de DBO₅ sigue bajando hasta la quinta semana que es de 88.95 mg/L. Luego en la sexta semana inicia a subir la concentración de DBO₅. Con los datos obtenidos se puede inferir que, con la biomasa de 100 g de *Lemna minor* se llega a un límite de saturación a los 34 días.

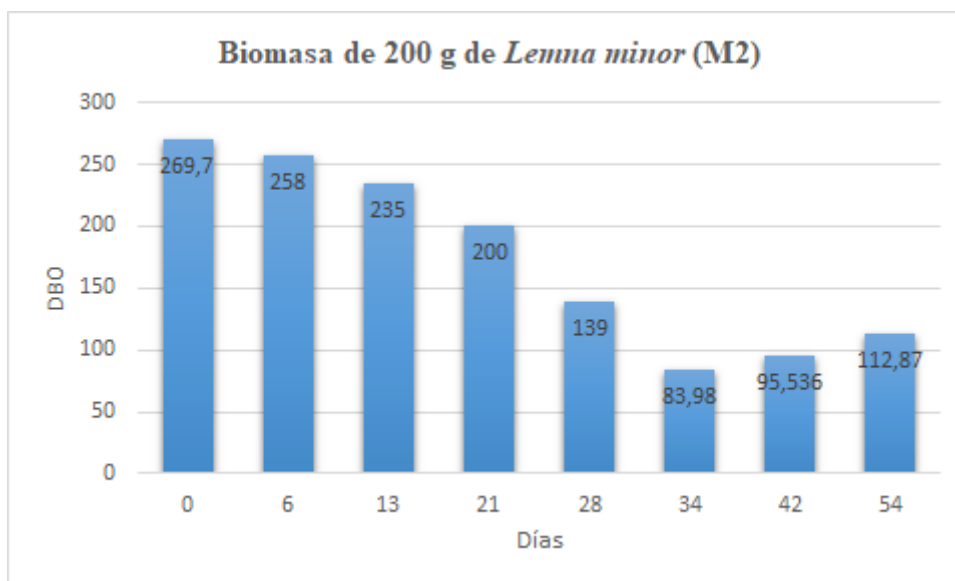


Figura 3: Evolución del DBO₅ en el tiempo para una biomasa de 200 g de *Lemna minor*. Elaboración propia (2019).

La figura 3 representa el tratamiento con 200 g de *Lemna minor*, rotulada como M2. En la primera semana se observa que la concentración de DBO₅ es de 258 mg/L; en la segunda semana la concentración es de 235 mg/L; en la tercera semana fue de 200 mg/L. Se observa que la concentración de DBO₅ sigue bajando hasta la quinta semana que es de 83.98 mg/L. Luego en la sexta semana inicia a subir la concentración de DBO₅. Con los datos obtenidos se puede inferir que, con la biomasa de 200 g de *Lemna minor* se llega a un límite de saturación a los 34 días.

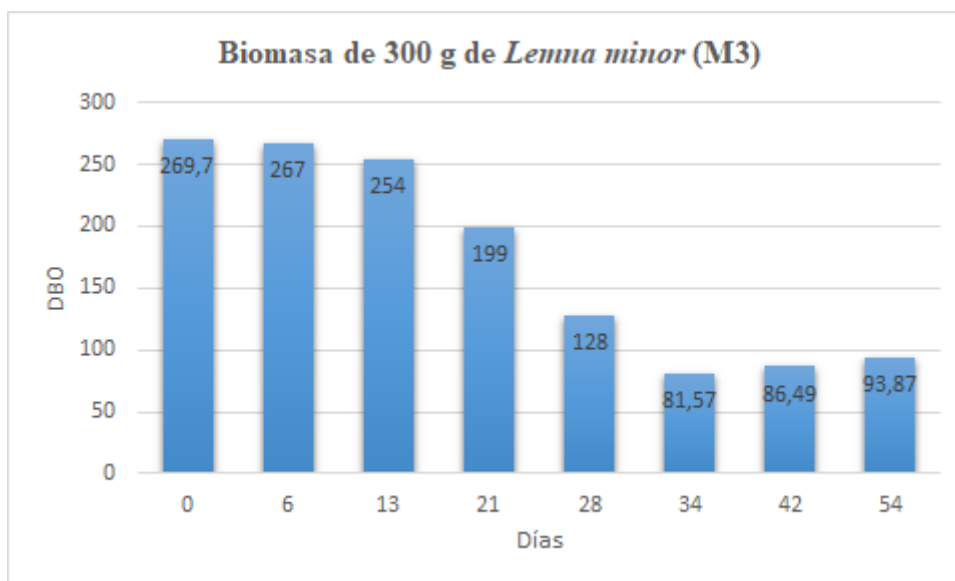


Figura 4: Evolución del DBO₅ en el tiempo para una biomasa de 300 g de *Lemna minor*. Elaboración propia (2019).

La figura 4 representa el tratamiento con 300 g de *Lemna minor*, rotulada como M3. En la primera semana se observa que la concentración de DBO₅ es de 267 mg/L; en la segunda semana la concentración es de 254 mg/L; en la tercera semana es de 199 mg/L. Se observa que la concentración de DBO₅ sigue bajando hasta la quinta semana que es de 81.57 mg/L. Luego en la sexta semana inicia a subir la concentración de DBO₅. Con los datos obtenidos se puede inferir que, con la biomasa de 300 g de *Lemna minor* se llega a un límite de saturación a los 34 días.

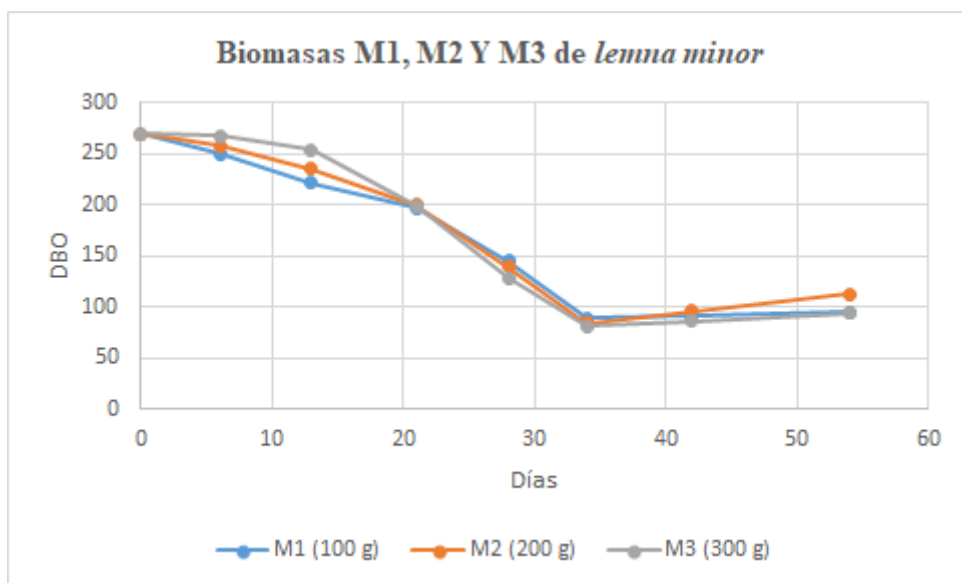


Figura 5: Evolución del DBO₅ en el tiempo para tres biomosas de 100, 200 y 300 g de *Lemna minor*.

Elaboración propia (2019).

La figura 5 representa el tratamiento con las tres biomosas M1, M2, M3 de *Lemna minor*, en donde se observa que en las primeras semanas la concentración de DBO₅ es menor con la biomasa de 100 g; en la quinta semana es donde las tres biomosas llegan a su punto de saturación y la DBO₅ más baja se obtiene con la biomasa de 300 g. A partir de la sexta semana la DBO₅ inicia a subir en las tres biomosas.

3.2 Sólidos suspendidos totales (SST)

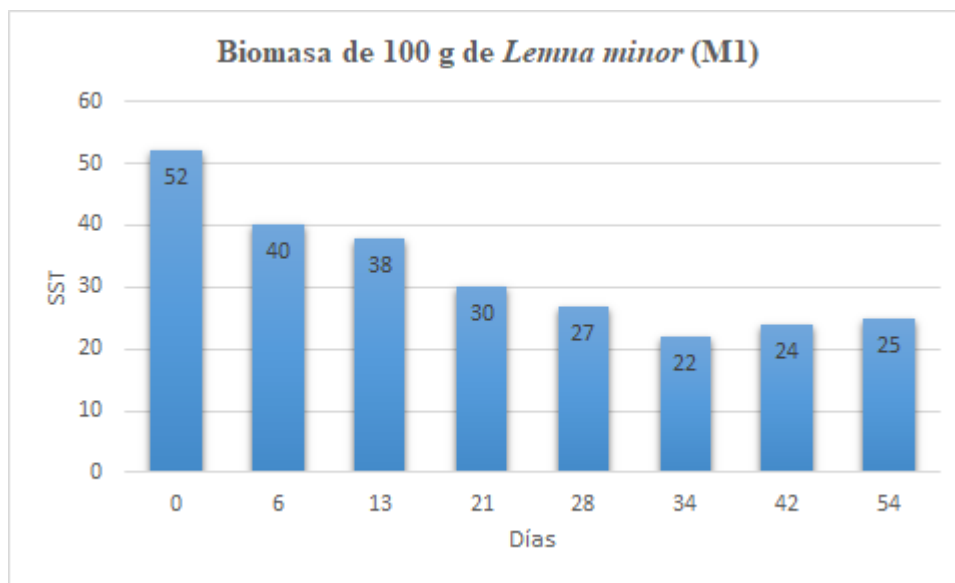


Figura 6: Evolución de los SST en el tiempo para una biomasa de 100 g de *Lemna minor*. Elaboración propia (2019).

La figura 6 representa el tratamiento con 100 g de *Lemna minor*, rotulada como M1. En la primera semana se observa que la concentración de SST es de 40 mg/L; en la segunda semana la concentración es de 38 mg/L; en la tercera semana es de 30 mg/L. Se observa que la concentración de SST sigue bajando hasta la quinta semana que es de 22 mg/L. Luego en la sexta semana inicia a subir la concentración de SST. Con los datos obtenidos se puede inferir que, con la biomasa de 100 g de *Lemna minor* se llega a un límite de saturación a los 34 días.

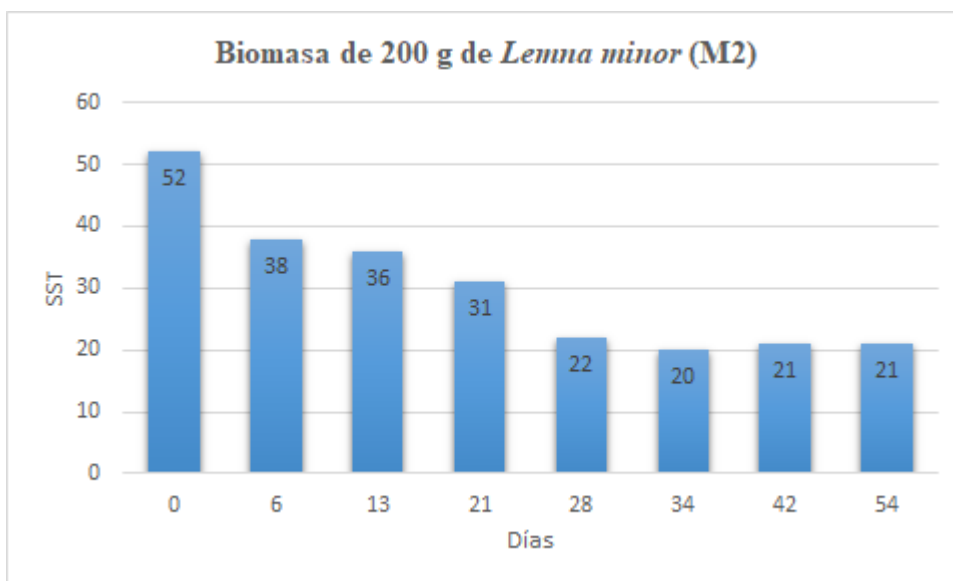


Figura 7: Evolución de los SST en el tiempo para una biomasa de 200 g de *Lemna minor*. Elaboración propia (2019).

La figura 7 representa el tratamiento con 200 g de *Lemna minor*, rotulada como M2. En la primera semana se observa que la concentración de SST es de 38 mg/L; en la segunda semana la concentración es de 36 mg/L; en la tercera semana es de 31 mg/L. Se observa que la concentración de SST sigue bajando hasta la quinta semana que es de 20 y luego en la sexta semana inicia a subir la concentración de SST. Con los datos obtenidos se puede inferir que, con la biomasa de 200 g de *Lemna minor* se llega a un límite de saturación a los 34 días.

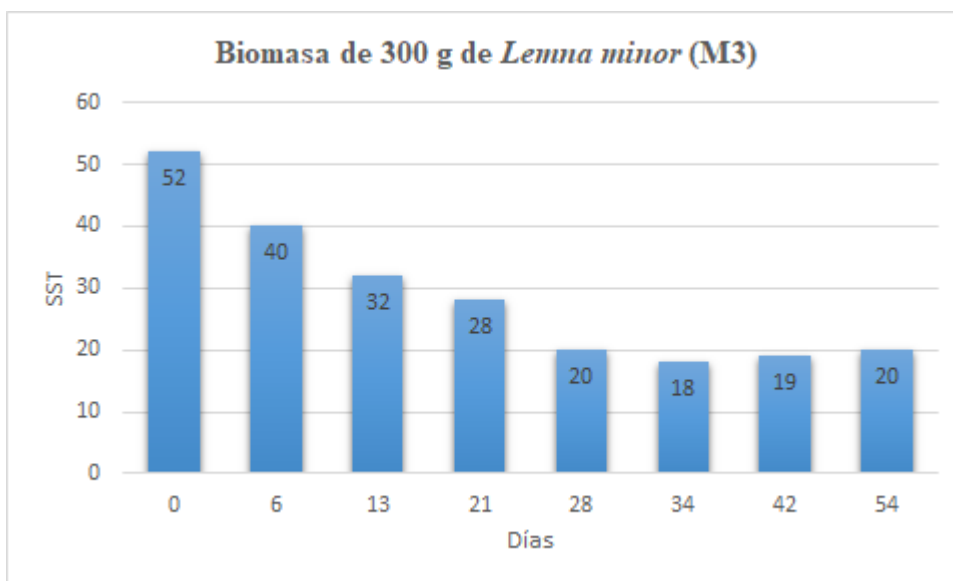


Figura 8: Evolución de los SST en el tiempo para una biomasa de 300 g de *Lemna minor*. Elaboración propia (2019).

La figura 8 representa el tratamiento con 300 g de *Lemna minor*, rotulada como M3. En la primera semana se observa que la concentración de SST es de 40 mg/L; en la segunda semana la concentración es de 32 mg/L; en la tercera semana es de 28 mg/L. Se observa que la concentración de SST sigue bajando hasta la quinta semana que es de 18 mg/L. Luego en la sexta semana inicia a subir la concentración de SST. Con los datos obtenidos se puede inferir que con la biomasa de 300 g de *Lemna minor* se llega a un límite de saturación a los 34 días.

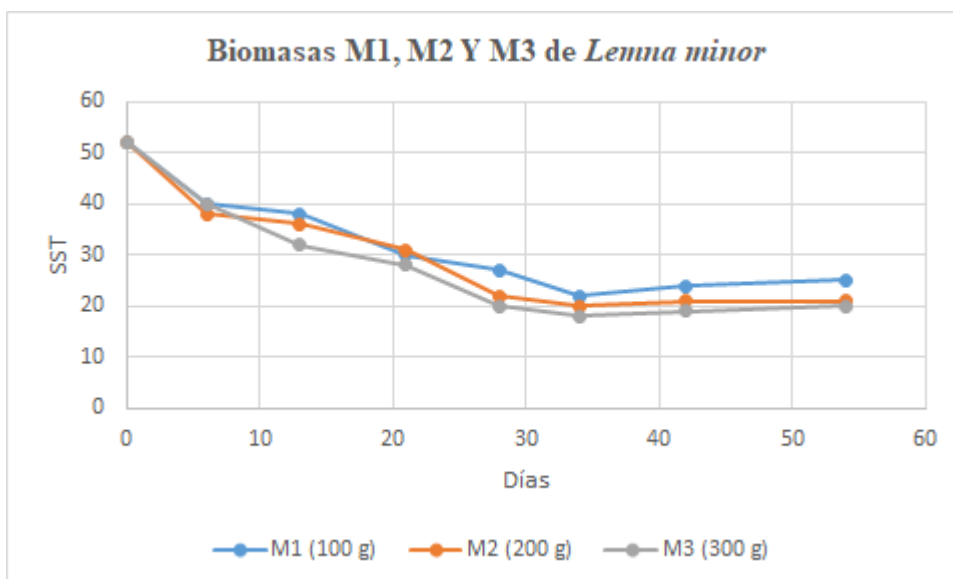


Figura 9. Evolución de los SST en el tiempo para tres biomosas de 100, 200 y 300 g de *Lemna minor*.

Elaboración propia (2019).

La figura 9 representa el tratamiento con las tres biomosas M1, M2, M3 de *Lemna minor*. En las primeras semanas la concentración de SST es menor con la biomasa de 200 g. En la quinta semana es donde las tres biomosas llegan a su punto de saturación y los SST más bajo se obtiene con la biomasa de 300 g. A partir de la sexta semana los SST inicia a subir en las tres biomosas.

IV. DISCUSIÓN

Terminada la investigación, se comprueba que al tratar el agua residual doméstica con la macrófita *Lemna minor*, los resultados discrepan con los de Medina (2016), pues en su investigación se observa que en la primera semana de tratamiento se logró disminuir la DBO₅ al 59%, mientras que en la presente investigación se llegó a niveles que oscilan entre 92,7 al 99%. Vale decir que su tratamiento fue más eficiente.

Esta diferencia se debe a la concentración inicial de DBO₅ de esta investigación, ya que fue 5 veces mayor que la tratada por Medina; además del mayor tiempo de adaptación de la planta que ellos tuvieron.

Con Alvarado (2017) se discrepan sus resultados, pues en su estudio se logró la remoción de la DBO₅ al 61%, mientras que en esta investigación se llegó a niveles de 30,2 a 33%, siendo nuestro tratamiento mucho más eficiente. La causa más evidente de esta diferencia es el tiempo de residencia de la macrófita en el agua contaminada, ya que en el caso de Alvarado fue solo de 10 días, comparada con los 34 días de ésta investigación.

Con Rodríguez, Gómez, Garavito y López (2010) se discrepa de igual manera, ya que en su investigación se planeó la idea de tratar aguas residuales con la elaboración de dos humedales artificiales de flujo superficial o libre. El reactor en donde se estableció la lenteja de agua tuvo un largo de 90 cm, un ancho de 30 cm y una profundidad de 40 cm y la remoción de materia orgánica fue de 58%. Mientras que en la presente investigación se utilizó tres estanques con las siguientes medidas largo 45 cm, ancho 32 cm y altura 25 cm y la remoción de materia orgánica fue de 30.2 a 33% en 34 días de tratamiento.

Esta diferencia se debe a las dimensiones de los estanques utilizados, fue 3 veces menor la capacidad que la tratada por Rodríguez, et al., (2010).

Con García, (2012) también esta investigación discrepa, ya que en su investigación logró reducir la DBO₅ al usar la lenteja de agua a niveles de 96.7%. Mientras en la presente

investigación se logró remover a niveles de 30,2 a 33% la DBO₅, usando *Lemna minor*, siendo más eficientes.

La causa más evidente de esta diferencia es el tiempo de residencia de la macrófita en el agua contaminada, en el caso de García (2012) fue solo de 5 días, comparada con los 34 días de ésta investigación.

V. CONCLUSIONES

- Se determinó el efecto de la concentración y tiempo de contacto de tres biomásas de *lemna minor* en la biorremediación de aguas residuales domésticas.
- Se determinó la DBO₅ presente en las aguas residuales domésticas antes del tratamiento, cuyo valor fue 269,7 ppm.
- Se biorremedió el agua residual doméstica del dren 2000 con tres biomásas de 100, 200 y 300 g de *Lemna minor* en estanques de 30 Litros de capacidad.
- Se evaluó periódicamente la DBO₅, Para las biomásas de 100, 200 y 300 g de *Lemna minor*, se produjo una disminución significativa de la DBO₅ a partir de la cuarta semana, donde llega a tener valores del 53,8%, 51,5% y 47,5% de la concentración inicial. El análisis de varianza (Anova) de la variable concentración de biomásas de *Lemna minor* indica que no existen diferencias estadísticamente significativas. Valor-P = 0.59 > α = 0.05. Entonces se acepta la hipótesis nula, Con un 95.0% de nivel de confianza, se puede afirmar que los tratamientos empleados con las tres biomásas, tienen el mismo efecto para disminuir la DBO₅.
- Se comprobó que al día 34 del tratamiento, ocurre la saturación de la absorción de la *Lemna minor* con las tres biomásas.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener un tiempo de acondicionamiento de la *Lemna minor* de 10 días antes del tratamiento, ya que eso influye en la disminución de la DBO₅ en menor tiempo.
- Se debe retirar la *Lemna minor* muerta para evitar la acumulación y mejorar la remoción de la contaminación orgánica.
- Utilizar estanques con dimensiones grandes, ya que la *Lemna minor* se reproduce de manera muy rápida y mientras más grande sea el estanque más *Lemna minor* habrá, por lo tanto, habrá mayor absorción de materia orgánica en menor tiempo.
- Retirar la biomasa de *Lemna minor* luego de la saturación de absorción de materia orgánica y colocar una nueva para la remoción total de la DBO₅.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguinaga, S. (1996). *Manual de procedimientos analíticos para aguas y efluentes [archivo PDF]*, pp. 132-140. Recuperado de http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/docs/pdfs/manual_dinama.pdf
- ANA confirma que cuenca Chancay-Lambayeque está afectada principalmente por desagües domésticos. (2013, enero 30). Recuperado de <https://www.ana.gob.pe/noticia/ana-confirma-que-cuenca-chancay-lambayeque-esta-afectada-principalmente-por-desagues>
- Armstrong, W. (2003). *Wayne's Word Lemnaceae Online*. Recuperado de <http://www.waynesword.palomar.edu>
- Arreghini, S. (s.f.). *Plantas acuáticas (macrofitas)*. Recuperado de <https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/PlantAcuat.htm>
- Arroyave, M. (2004). La Lenteja de agua (*Lemna minor L.*): Una Planta Acuática Promisoria. *Revista EIA*, 1(1), 33-38. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n1/n1a04.pdf>
- Basantes, E. (2016). *Silvicultura y Fisiología Vegetal Aplicada*. Sangoquí, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Bui, X.M., Ogle, B., & Lindberg, J. (2002). Use of duckweed as a protein supplement for breeding ducks. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*. 15 (6), 866-871.
- Cajigas, A. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Aravaca, Madrid: MC. Graw Hill.
- Campos, B., & Alvarado, K. (2018). “Influencia del uso de *Lemna minor* en el tratamiento de la contaminación orgánica de los efluentes industriales de Cotexsur, Lurin, 2017” (tesis de pregrado). Universidad de Huánuco, Huánuco, Perú.
- Chará, J. (1998). El potencial de las excretas porcinas para uso múltiple y los sistemas de descontaminación productiva. Memorias del Seminario Internacional sobre

- Contaminación y Reciclaje en la Producción Porcina. *CIPAV-ACP*. Cali, Colombia pp. 49-67.
- Cook, C.D. & Gut, B.J. (1974). Water plants of the world: A manual for the identification of the genera of freshwater macrophytes. *The Hague: Junk*, 560 p.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA).
- Díaz, E., Alvarado, A., & Camacho, K. (2012) “El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México”. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 14(1), 78-97. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>
- Ellmore, G. (1981). Root dimorphism in *Ludwigia peploides* (Onagraceae): structure and gas content of mature roots. *Amer.J.Bot*, 68, 557-568.
- Garay, I. (2017). “*Eficacia de las Macrófitas Jacinto y lenteja de agua para disminuir la concentración del boro, en las aguas minerotermales de la “laguna la milagrosa”- Chilca, 2017*” (tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Chiclayo, Perú.
- García, Z. (2012). “*Comparación y Evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficacia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Lima*” (tesis de pre grado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Instituto gallach. (1984). *Historia natural*. 5(1). Barcelona: Océano.
- Jaramillo, M. & Flores, C. (2012). “*Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (Lenteja de agua), y Eichornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera*” (tesis de pre grado), Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.

- Larios, J., Gonzales, C., & Morales, Y. (2015). Las Aguas Residuales y sus consecuencias en el Perú. *Revista Saber y Hacer*. Recuperado de <https://www.usil.edu.pe/sites/default/files/revista-saber-y-hacer-v2n2.2-1-19set16-aguas-residuales.pdf>
- Luna, M., Campos, F., & Medina, O. (2016) Evaluación de las aguas residuales del lavado de estanques multipropósito con cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria*. 17(2), 191-202.
- Ministerio del Ambiente. *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental* (s.f.). Recuperado de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Olguín, E. & Hernández, E. (1998). Use of aquatic plants for recovery of nutrients and heavy metals from wastewater. *Institute of Ecology, Environmental Biotechnology*. Vancouver. Recuperado de <http://www.idrc.ca/industry/canada>
- Organización de las Naciones Unidas agrícolas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2017). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos*. Recuperado de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247553_spa
- Pedraza, G. (1997). “*Implementación y evaluación de un sistema de descontaminación de aguas servidas con plantas acuáticas. Maestría en Desarrollo Sostenible de Sistemas Agrarios*” (tesis pre grado), Universidad Javeriana-CIPAVIMCA, Bogotá, Colombia.
- Pérez López JA, Espigares M. *Estudio sanitario del agua*. Granada: Universidad de Granada, 1995.
- Rodríguez, J.P., Gómez, E., Garavito, L., & Lopez, F. (2018) “Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en

- humedales artificiales”. *Revista de tecnología y Ciencias del Agua*. Recuperado de:
<http://www.redalyc.org/pdf/3535/353531968005.pdf>
- Roldán, G. (1992). *Fundamentos de limnología tropical*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. 529 p.
- Ruiz, O., Acero, A., Lorén, J., Russo, B., & Lapuente, M. (2017). Planta Piloto para el análisis del rendimiento de la depuración de aguas fecales mediante macrofitas. V *Jornadas de Ingeniería del Agua*, 1(1), 1-15. Recuperado de <http://geama.org/jia2017/wp-content/uploads/ponencias/posters/rs8.pdf>
- Zambrano, J. (1974). Las malezas acuáticas. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 2(4), 87-94.
- Zayed, A. (1998). Phytoaccumulation of trace elements by wetlands. *Journal of Environmental Quality*. 27 (3), 715-721.

ANEXOS

Anexo 1. Resultado de los análisis físicos químicos

EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS
DE SANEAMIENTO DE LAMBAYEQUE S.A.

" TRABAJAMOS PERMANENTEMENTE PARA LLEVARLE AGUA DE LA MEJOR CALIDAD, CUIDELA NO LA DESPERDICIE "

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOS QUIMICOS
DREN 2000 - LAMBAYEQUE

PARAMETROS	Dren 2000	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Fecha de Analisis	27/08/19	03/09/2019			10/09/2019			16/09/2019			23/09/2019			30/09/2019			07/10/2019		
Demanda Biologica de Oxigeno	260.00	250.00	258.00	267.00	221.00	226.00	254.00	187.00	233.00	199.00	145.00	139.00	128.00	88.00	83.00	87.37	80.24	112.87	93.87
Solidos Suspensivos Totales	52.00	43.00	38.00	40.00	58.00	38.00	52.00	36.00	51.00	38.00	37.00	33.00	30.00	22.00	22.00	18.00	35.00	24.00	20.00
pH	7.83	7.88	7.66	7.77	7.85	7.88	8.12	8.75	8.02	8.08	8.03	8.40	8.30	8.80	8.47	8.40	8.26	8.18	8.23
Conductividad	1134	1367	1585	1400	1016	1862	1084	1236	1228	1280	1041	1048	1084	1087	1079	1086	1088	1116	1343
Temperatura	16.00	18.70	18.40	18.00	20.10	18.80	19.80	14.10	13.00	13.20	19.70	20.30	21.40	18.80	20.40	23.80	12.90	11.30	11.40

Los resultados fueron revisados por personal autorizado

OFICINAS: Av. Carlos Castañeda Irujo s/n N° 100 - Av. Sáenz Peña N° 1800 (Planta de Agua Potable) Chiclayo
Telf.: 252291 (Central de Telefónica) - 253479 (G.G.) - Gerencia Operacional Telf.: 254132
Gerencia Comercial - Av. Miguel Grau N° 451 - Telf.: 273609 (G.G.) - 238751 (Central Telefónica)
Emergencias Telf.: 736361 - 336347 - 01-800-270927

Anexo 2. Normas legales MIMAN

El Peruano
Lima, miércoles 17 de marzo de 2010

NORMAS LEGALES

415675

de impuestos o de derechos aduaneros de ninguna clase o denominación.

Artículo 5°.- La presente Resolución Suprema será refrendada por el Presidente del Consejo de Ministros.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELÁSQUEZ QUESQUÉN
Presidente del Consejo de Ministros

469446-6

AMBIENTE

Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

DECRETO SUPREMO
N° 003-2010-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;

Que, el numeral 32.1 del artículo 32° de la Ley General del Ambiente define al Límite Máximo Permissible - LMP, como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33° de la Ley N° 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplique el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, establece como función específica de dicho Ministerio, elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 121-2009-MINAM, se aprobó el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el año fiscal 2009 que contiene dentro de su anexo la elaboración del Límite Máximo Permissible para los efluentes de Plantas de Tratamiento de fuentes domésticas;

Que el artículo 14° del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) aprobado mediante Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, establece que el proceso de evaluación de impacto ambiental comprende medidas que aseguren, entre otros, el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental, los Límites Máximos Permisibles y otros parámetros y requerimientos aprobados de acuerdo a la legislación ambiental vigente; del mismo modo, en su artículo 28° el citado reglamento señala que, la modificación del estudio ambiental o la aprobación de instrumentos de gestión ambiental complementarios,

implica necesariamente y según corresponda, la actualización de los planes originalmente aprobados al emitirse la Certificación Ambiental;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del artículo 118° de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11° de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1°.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)

Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

Artículo 2°.- Definiciones

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos:

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR):** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales.

- **Límite Máximo Permissible (LMP):** Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.

- **Protocolo de Monitoreo:** Procedimientos y metodologías establecidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en coordinación con el MINAM y que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo.

Artículo 3°.- Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes de PTAR

3.1 Los LMP de efluentes de PTAR que se establecen en la presente norma entran en vigencia y son de cumplimiento obligatorio a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

3.2 Los LMP aprobados mediante el presente Decreto Supremo, no serán de aplicación a las PTAR con tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario que cuenten con disposición final mediante emisario submarino.

3.3 Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que no cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

3.4 Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de tres (03) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la actualización de los Planes de Manejo Ambiental de los Estudios Ambientales; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

Artículo 4°.- Programa de Monitoreo

4.1 Los titulares de las PTAR están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, de conformidad con el Programa de Monitoreo aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El Programa de Monitoreo especificará la ubicación de los puntos de control, métodos y técnicas adecuadas; así como los parámetros y frecuencia de muestreo para cada uno de ellos.

Anexo 3. Límites máximos permisibles para los efluentes

415676

 **NORMAS**

4.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

4.3 Sólo será considerado válido el monitoreo conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual - INDECOPI.

Artículo 5°.- Resultados de monitoreo

5.1 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR, por lo que los titulares de las actividades están obligados a reportar periódicamente los resultados del monitoreo de los parámetros regulados en el Anexo de la presente norma, de conformidad con los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo aprobado por dicho Sector.

5.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento deberá elaborar y remitir al Ministerio del Ambiente dentro de los primeros noventa (90) días de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los Titulares de las PTAR, durante el año anterior, lo cual será de acceso público a través del portal institucional de ambas entidades.

Artículo 6°.- Fiscalización y Sanción

La fiscalización del cumplimiento de los LMP y otras disposiciones aprobadas en el presente Decreto Supremo estará a cargo de la autoridad competente de fiscalización, según corresponda.

Artículo 7°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA FINAL

Única.- El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en coordinación con el MINAM, aprobará el Protocolo de Monitoreo de Efluentes de PTAR en un plazo no mayor a doce (12) meses contados a partir de la vigencia del presente dispositivo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los dieciséis días del mes de marzo del año dos mil diez.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

JUAN SARMIENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR

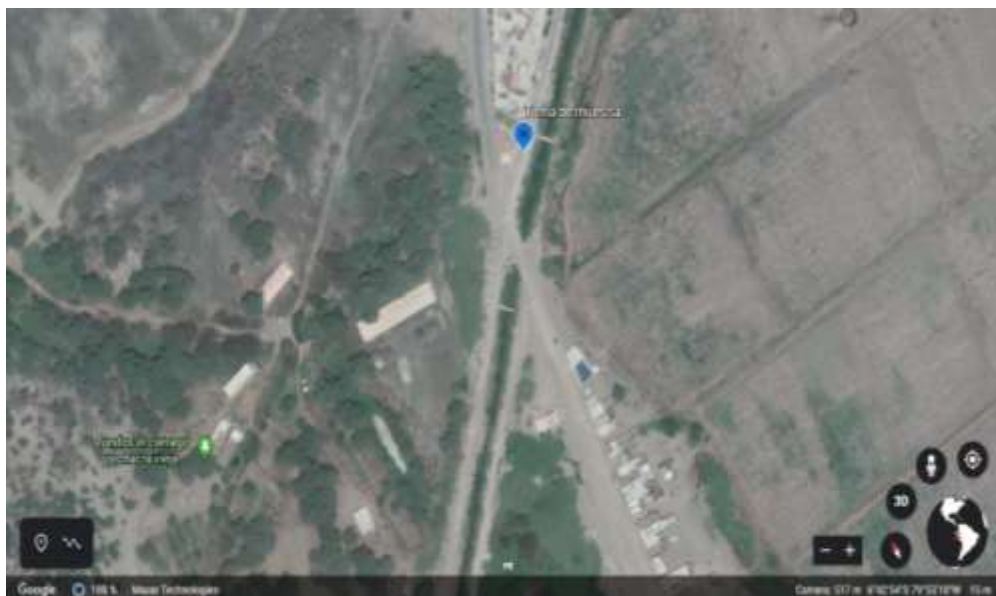
PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformos Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales Suspensión	en mL/L	150
Temperatura	°C	<35

469446-2

Anexo 4. Aguas residuales domésticas del dren 2000 de Lambayeque



Anexo 5. Toma de muestra de la macrófita *Lemna minor* en el dren 2000 de Lambayeque



Anexo 6. Monitoreo de la *Lemna minor* con el pasar de los días



Anexo 7. Toma de muestra del agua residual doméstica, para su análisis en el laboratorio.



Anexo 8. Biomosas de *Lemna minor* a los 54 días de tratamiento

